第38卷 第5期
2021年9月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 38 No. 5
Sep. 2021

气候变化背景下1958—2017年陕西省0 cm地温时空变化特征

肖薇薇[1,2,3]， 安 彬[1,2,3]， 史佳琪[1]

（1. 安康学院旅游与资源环境学院，陕西 安康 725000；2. 安康市汉江水资源保护与利用工程技术研究中心，陕西 安康 725000；3. 陕西省科协院士专家工作站，陕西 安康 725000）

摘 要：利用陕西省1958—2017年18个气象观测站逐月0 cm地温和气温数据，结合线性回归、Mann-Kendall非参数检验、空间插值等方法，分析了陕西省0 cm地温时空变化趋势。结果表明：(1) 近60 a来，陕西省年际及四季平均0 cm地温除夏季外均呈显著增加趋势($P<0.01$)，气候倾向率呈冬季[0.42 ℃·(10a)$^{-1}$] > 春季[0.38 ℃·(10a)$^{-1}$] > 年际[0.27 ℃·(10a)$^{-1}$] > 秋季[0.23 ℃·(10a)$^{-1}$] > 夏季[0.07 ℃·(10a)$^{-1}$]的规律。(2) 陕西省年际和四季平均0 cm地温均发生突变增温，主要集中在20世纪90年代后期，地温突变后较之前升温幅度为春季 > 冬季 > 年际 > 夏季 > 秋季。(3) 陕西省年际及四季平均0 cm地温均表现为"南高北低"的空间分布特征，所有气象站点年际、春季和冬季地温及33%的站点夏季地温、83%的站点秋季地温呈现显著上升趋势($P<0.05$)。(4) 陕西省年际及四季地气温差除夏季外均呈上升趋势，其中气候倾向率呈冬季[0.17 ℃·(10a)$^{-1}$]>春季[0.1 ℃·(10a)$^{-1}$，$P<0.01$]>年际[0.07 ℃·(10a)$^{-1}$，$P<0.01$]>秋季[0.02 ℃·(10a)$^{-1}$]>夏季[-0.01 ℃·(10a)$^{-1}$]的规律。(5) 陕西省近60 a年均温及四季气温与0 cm地温均呈显著正相关关系，其显著性呈现秋季 > 春季 > 年 > 夏季 > 冬季的特点。

关键词：0 cm地温；时空变化；突变；地气温差；陕西省

地温作为地-气系统研究的重要参数，深刻影响着土壤的物理、化学及生物过程，土壤温度的变化直接影响作物种子萌发、生长发育及产量[1]。在全球气候变化背景下，研究不同尺度地表温度的时空变化规律及其与气候变化的响应关系，对于了解不同地区地气相互作用、地气能量交换以及水、热和碳等的循环过程具有重要意义[2]。从国家尺度来看，Hu等[3]依据1967—2002年美国的10 cm地温数据，发现美国10 cm地温呈升高趋势。Qian等[4]根据1958—2008年加拿大30个气候站的土壤温度数据，发现春季和夏季土壤温度呈显著的正趋势，而冬季和年平均土壤温度呈不显著的正趋势。陆晓波等[5]、乔丽等[2]、王佳琳等[6]先后对中国近50 a地表温度进行分析研究，发现中国0 cm地温呈先降低后升高的趋势，2000年突变后升温趋势更为明显，且在所有季节均呈现上升趋势，冬季平均地表温度增温趋势最明显，平均地表温度空间分布由北向南逐渐升高。从区域尺度来看，安彬等[7]研究表明1960—2017年黄土高原年际、季地温均呈显著上升趋势，且呈东南高、西北低的空间分布。杨平等[8]发现1961—2010年黔东南地区0~20 cm浅层地温夏季时空分布差异剧大，冬季时空分布差异和缓，四季的浅层地温均呈上升趋势。王雪姣等[9]发现新疆1961—2015年地温呈升高趋势，地温在1999年发生突变，地温与气温呈现出显著正相关关系。赵美亮等[10]分析了青海省地表温度及同期气象数据，指出地温与气温呈显著正相关，与风速、海拔呈显著负相关，地表平均温度呈现出明显的垂直递减规律且海拔高的地区变暖趋势更加明显。闫军辉等[11]分析得出银川市1961—2012年0~20 cm平均地温呈上升趋势，其中0 cm地温升温速率最大。综上，地温的变化具有明显的时空分异，针对不同区域的地温变化特征还需要深入探究，从而明确地温与环境因子之间的响应机制。

收稿日期：2021-02-25； **修订日期**：2021-04-12
基金项目：陕西省人社厅项目(RS17)；陕西省教育厅项目(19JK0004)；安康市汉江水资源保护与利用工程技术中心项目(2021)
作者简介：肖薇薇(1983-)，女，博士，主要从事气候变化影响评估与风险管理. E-mail: xiaoweismile528@126.com

陕西省地处我国西北地区，境内气候条件复杂多变、敏感脆弱，近年来有学者针对西安市[12]、关中地区[13]地温变化特征展开了研究，而系统研究陕西省地表温度的成果相对较少。基于此，本研究利用陕西省1958—2017年的逐月气温和0 cm地温数据，分析陕西省近60 a的0 cm地温的时空变化特性及其对气候变化的响应，以期为陕西省有效利用气候资源，科学规划种植区、提高农作物产量等提供参考依据。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本文选取陕西省1958—2017年18个气象观测站的逐月0 cm地温（以下均简称为"地温"）、气温实测数据，数据均来源于中国气象数据网(https://data.cma.cn/)，气象站点位置如图1所示。季节划分为春季（3—5月）、夏季（6—8月）、秋季（9—11月）、冬季（12月—次年2月）。

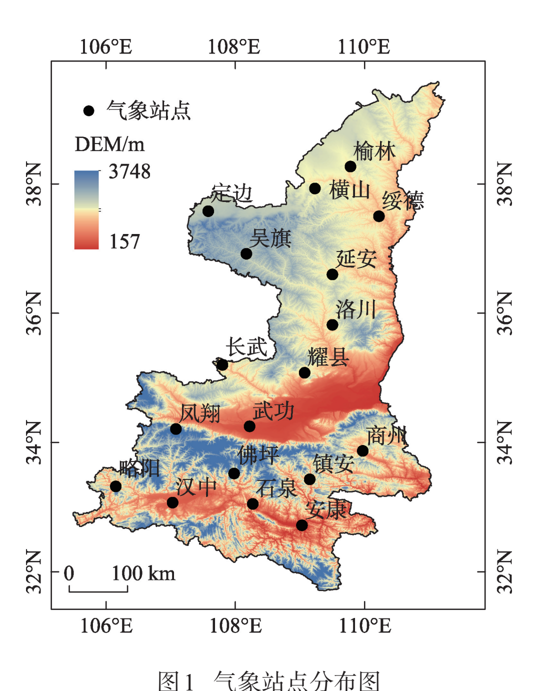


图1 气象站点分布图

Fig. 1 Location of meteorological observation stations

1.2 研究方法

采用一元线性回归分析地温变化趋势，确定气候倾向率，并对气候变化速率进行显著性检验，分为趋势显著（$P<0.01$）、趋势较显著（$P<0.05$）和趋势不显著（$P>0.05$）。采用ArcGIS 10.2软件中的样条函数插值法，分析陕西省地温在年际和四季的空间分布特征。地气温差即地面与大气的相对冷热区别，表示地面不同冷源与热源的性质及其强度，用0 cm地温减去气温所得到的数值表示。利用Mann-Kendall法诊断陕西省1958—2017年地温突变情况，并分析其突变年份。Mann-Kendall法是一种非参数统计检验方法，可以明确突变开始的时间，是一种常用的突变检测方法。计算方法如下[14]：

假定时间序列为$\{x_i\}(i=1,2,3,\cdots n)$，$m_i$表示第$i$个样本$x_i>x_j(1\leqslant j\leqslant i)$的累计数。定义统计量$d_k$：

$$d_k=\sum_1^k m_i \tag{1}$$

在时间序列独立的假定下，定义统计量如下：

$$UF_k=\frac{d_k-E(d_k)}{\sqrt{\mathrm{Var}(d_k)}},\quad (k=1,2,3,\cdots,n) \tag{2}$$

$$\begin{cases}UB_k=-UF_k,\\ k=n+1-k\end{cases}\quad (k=1,2,3,\cdots,n) \tag{3}$$

式中：$E(d_k)$和$\mathrm{Var}(d_k)$分别为累计数d_k的均值和方差。UF_k为标准正态分布，其判断依据为：当$UF>0$，则表征该时间序列呈上升趋势；$UF<0$则为下降趋势，当其超过95%置信水平α时，说明该上升或下降趋势显著。当UF和UB曲线在临界线内存在交叉点，则该交点即为该时间序列的突变发生时间；若存在多个交点时，则结合滑动t检验法进一步判断突变时间，方法见文献[14]。

2 结果与分析

2.1 地温时间变化特征

1958—2017年陕西省年平均地温呈显著升高趋势，地温倾向率达0.27 ℃·(10a)$^{-1}$（$P<0.01$）（图2a）。近60 a，陕西省年均地温在20世纪50年代后期至90年代末呈现波动下降，2000年后地温持续上升，在2006年达最高值（15.379 ℃），与1976年的最低值（12.55 ℃）相差2.829 ℃。由M-K检验结果（图2b）可知，陕西省年均地温在1996年发生突变，突变前后相差1.145 ℃。陕西省年均地温与全国[5]及西安市[12]地温变化趋势基本一致，同时也与陕西省平均气温的突变发生时间基本吻合[15-16]，这也说明了地温与气温之间的显著相关性。

总体来看，近58 a陕西省四季地温均呈上升趋势，但不同季节的上升速率及年际变化程度存在差异（图3）。1958—2017年陕西省除夏季呈不显著升高趋势外，春、秋、冬3季的平均地温均呈显著升高趋势（$P<0.01$），地温倾向率呈现冬季[(0.42 ℃·(10a)$^{-1}$)]>

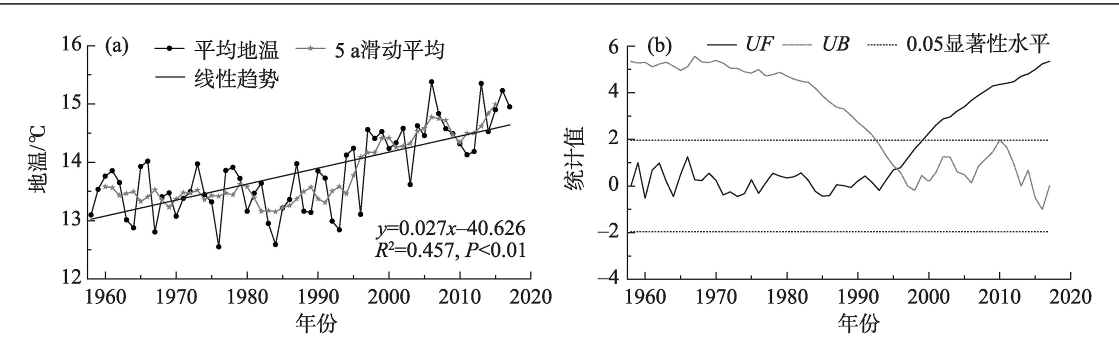


图2 1958—2017年陕西省年均地温线性趋势和突变特征

Fig. 2 Linear trend and climatic abruptness characteristics of annual average surface temperature in Shaanxi Province during 1958 to 2017

(a) 春季平均地温 5 a滑动平均 线性趋势
地温/℃
y=0.038x–60.214
R^2=0.337, P<0.01
年份

(b) UF UB 0.05显著性水平
统计值
年份

(c) 夏季平均地温 5 a滑动平均 线性趋势
地温/℃
y=0.007x+13.002
R^2=0.005, P=0.26
年份

(d) UF UB 0.05显著性水平
统计值
年份

(e) 秋季平均地温 5 a滑动平均 线性趋势
地温/℃
y=0.023x–33.272
R^2=0.271, P<0.01
年份

(f) UF UB 0.05显著性水平
统计值
年份

(g) 冬季平均地温 5 a滑动平均 线性趋势
地温/℃
y=0.042x–83.34
R^2=0.435, P<0.01
年份

(h) UF UB 0.05显著性水平
统计值
年份

图3 1958—2017年陕西省地温季节线性趋势和突变特征

Fig. 3 Linear trend and climatic abruptness characteristics of surface temperature in four seasons in Shaanxi Province during 1958 to 2017

春季[(0.38 ℃·(10a)$^{-1}$)]＞秋季[(0.23 ℃·(10a)$^{-1}$)]＞夏季[(0.07 ℃·(10a)$^{-1}$)]的趋势。由此可见,陕西省年均地温的升高主要基于冬春秋3季地温的贡献。春季地温在20世纪60—70年代呈现波动上升趋势,80年代开始下降,90年代后持续上升,并在2012年达最高值18.085 ℃,与1975年的最低值(13.393 ℃)相差4.692 ℃。夏季地温在20世纪60年代缓慢上升,70—80年代波动下降,90年代后持续上升,并在2006年达最高值28.891 ℃,与1983年的最低值(25.16 ℃)相差3.731 ℃。秋季和冬季地温变化规律相似,自20世纪80年代开始持续上升,其中秋季地温在1998年达最高值14.944 ℃,与1981年最低值(11.443 ℃)相差3.501 ℃;冬季地温在2016年达最高值2.235 ℃,与1967年最低值(−2.913 ℃)相差5.148 ℃,为四个季节最高。

结合图3和表1分析可知,近58 a陕西省年及四季地温均出现了上升突变,所有突变点均通过了滑动t检验,突变后升温幅度更加明显,除夏季外其他三季均通过了0.05的显著性检验。其中,年际和春、秋、冬三季集中在20世纪90年代末发生突变,夏季时间为2014年,地温突变前后升温幅度为春季＞冬季＞年际＞夏季＞秋季。

表1 1958—2017年陕西省年际、四季地温突变前后多年平均值及变化量

Tab. 1 Annual average value and its variation before and after climatic abruption of annual and seasonal surface temperature in Shaanxi Province from 1958 to 2017

时间	突变时间	突变前平均值/℃	突变后平均值/℃	突变前后变化量/℃
春季	1997	14.761	16.459	1.698
夏季	2014	27.175	28.201	1.027
秋季	1993	12.546	13.256	0.710
冬季	1995	−0.796	0.662	1.457
年际	1996	13.436	14.581	1.145

2.2 地温空间变化特征

近60 a,陕西省年均和四季地温整体均表现为南高北低的空间分布特点,呈现出随纬度的降低而升高的趋势(图4),最高值均出现在南部地区的安康站,除夏季外最低值均出现在陕北的定边。其中年均地温均在10 ℃以上,春季地温在12~18 ℃之间波动,夏季地温多为25~30 ℃,且在佛坪出现一个低值中心,秋冬季节地温呈现由南向北逐步降低的趋势。

从图5来看,陕西省18个站点年均地温、春季

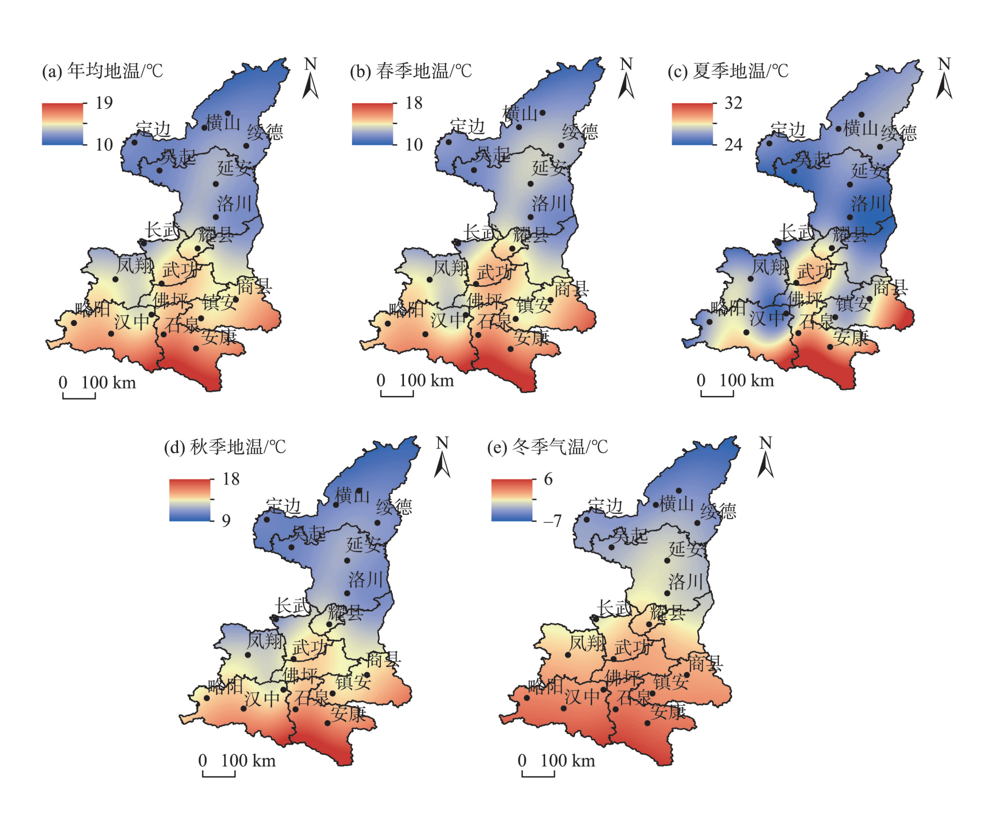


图4 1958—2017年陕西省年均和四季地温空间分布

Fig. 4 Distribution of annual and seasonal surface temperature trends from 1958 to 2017 in Shaanxi province

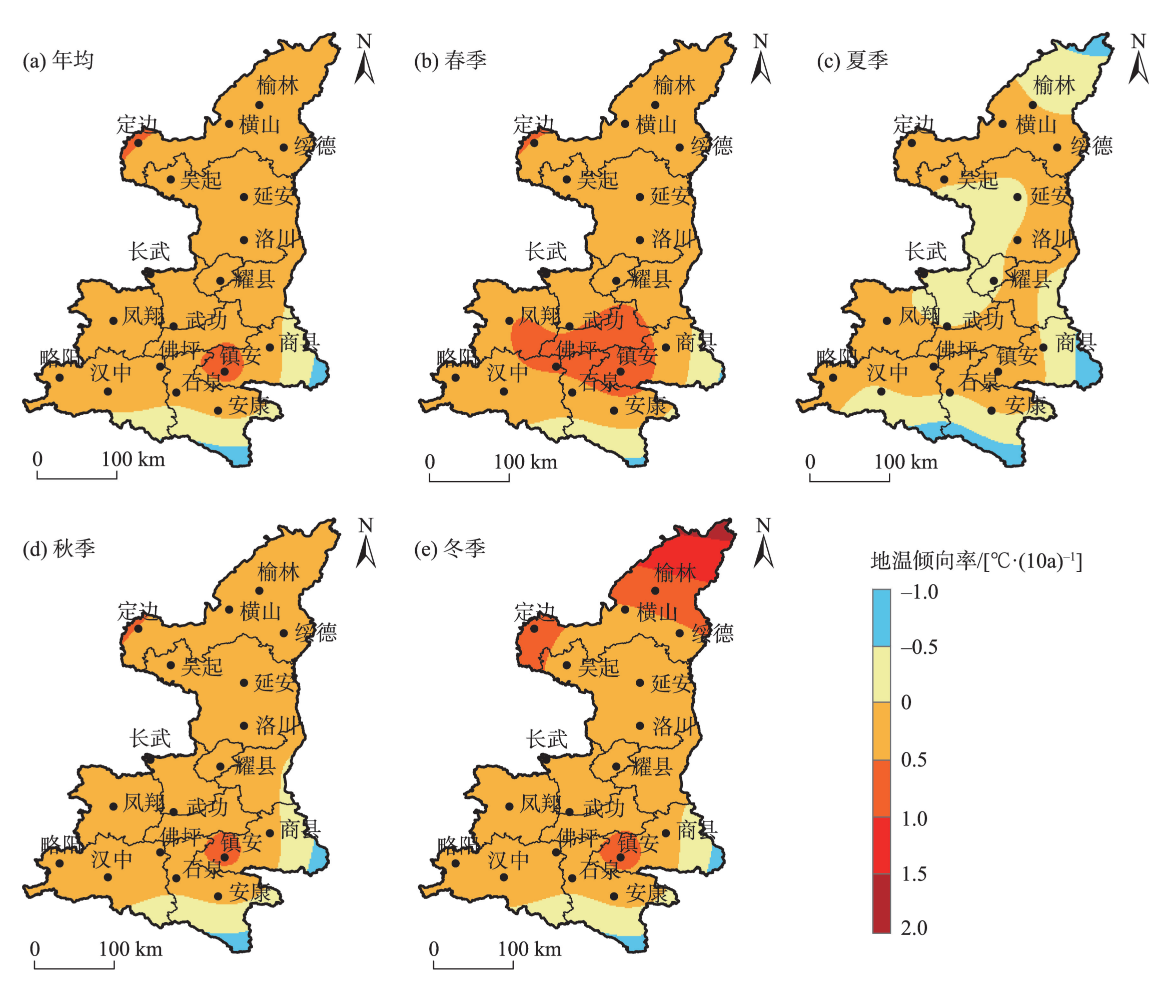


图5 1958—2017年陕西省年际和四季地温倾向率空间分布

Fig. 5 Distribution of annual and seasonal surface temperature tendency from 1958 to 2017 in Shaanxi province

和冬季地温显著上升($P<0.05$),且多以0~0.5 ℃·$10a^{-1}$速率上升,分别占全部站点的89%、94%和83%,且以南部镇安为中心产生一个高值区。夏季地温有6个站点以0.2~0.4 ℃·$(10a)^{-1}$速率显著上升($P<0.05$),有5个站点呈不显著下降趋势。秋季地温也多以0~0.5 ℃·$(10a)^{-1}$速率上升,其中显著上升的站点达83%($P<0.05$)。值得注意的是,年均及四季地温最高值均出现在南部的安康,但安康年均及冬季增温幅度最小,处于东南部的镇安年均及春夏秋3季地温增温幅度最大。陕西省年际和四季地温的空间分布与其特殊的地理位置和独特的地形条件有着密切的关系,受纬度和东西走向的秦巴山地的共同影响,海拔高的地区增温趋势更加明显[10]。

2.3 地温与气温的关系

2.3.1 地气温差的时间变化特征 由图6a分析可知,1958—2017年,陕西省年均地表温度和气温总体均有增加趋势,且地温较气温增幅更大,所以总体来看陕西省年均地气温差呈显著升高趋势,年均地气温差倾向率达0.07 ℃·$(10a)^{-1}$($P<0.01$)。陕西省年均地气温差在20世纪70年代至90年代有下降趋势,最小值出现在1998年(1.95 ℃),2000年后升温幅度较大,在2008年达最大值2.93 ℃。地气温差的增大预示着近地层空气不稳定度增强,从而造成对流增强,致使地表水分蒸发量增加,这也是陕西省气候暖干化趋势的进一步体现[15-16]。

地气温差的变化是由地温和气温的变化共同决定的,在不同的季节,地温和气温对地气温差年代际变化的贡献程度也不同[17]。陕西省1958—2017年四季地气温差除夏季外均呈现增加趋势,其中春季达到显著增加水平,四季地气温差倾向率呈冬季[0.17 ℃·$(10a)^{-1}$]>春季[0.1 ℃·$(10a)^{-1}$, $P<0.01$]>秋季[0.02 ℃·$(10a)^{-1}$]>夏季[−0.01 ℃·$(10a)^{-1}$]的变化趋势(图6b~图6e)。春季地温、气温和地气温差总体均呈增加趋势,特别是从20世纪90年代

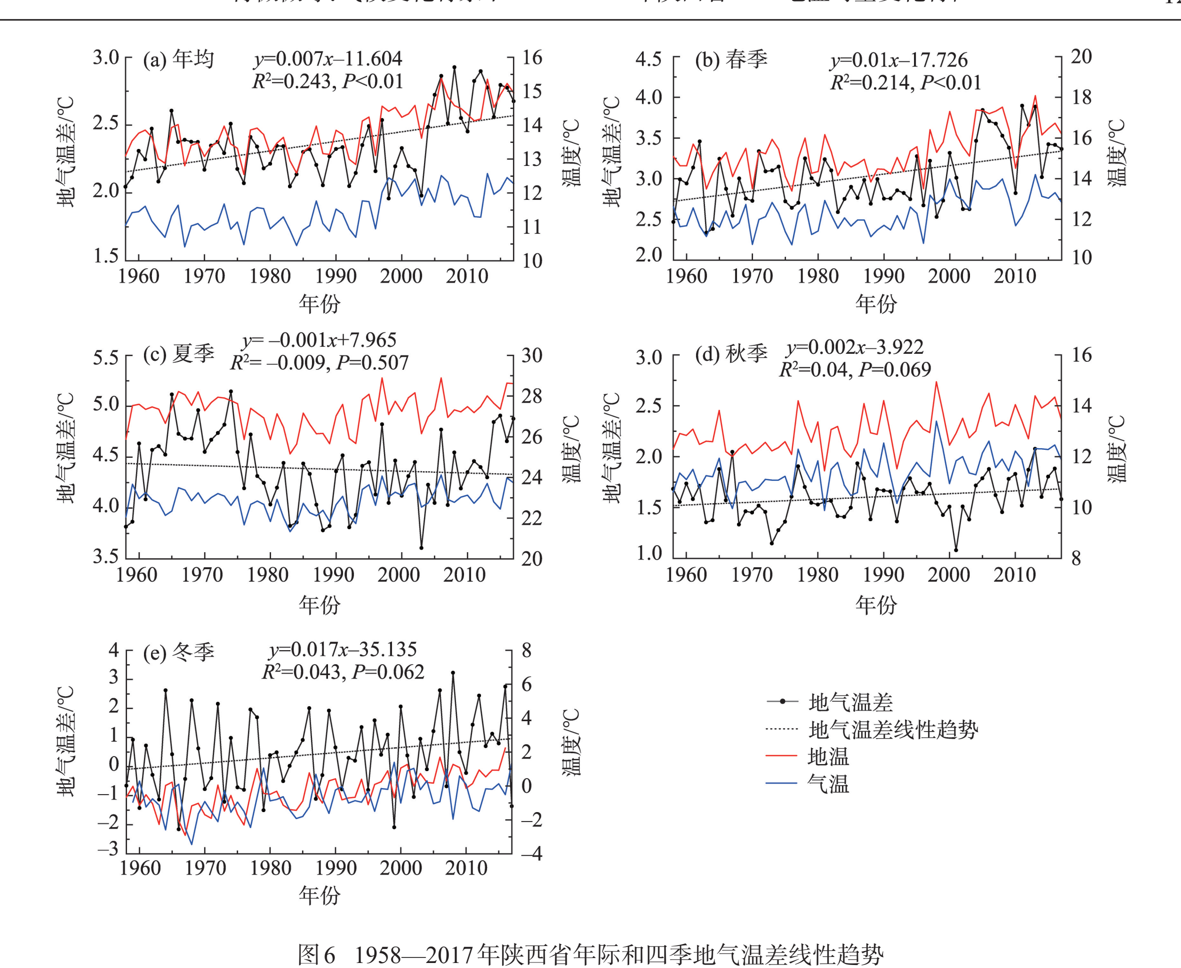


图6 1958—2017年陕西省年际和四季地气温差线性趋势

Fig. 6 Annual and seasonal linear trend of temperature difference between surface temperature and air temperature from 1958 to 2017 in Shaanxi province

末期开始地温增温幅度大于气温增幅,导致地气温差增加幅度大幅提升,在2011年达最高值3.897 ℃,与1963年最低值(2.337 ℃)相差1.56 ℃。夏季地温和气温波动趋势基本一致,没有明显增加趋势,地气温差从20世纪70年代中期开始呈现略微下降趋势,最高值出现在1974年(5.145 ℃),在2003年达最低值(3.607 ℃),相差1.538 ℃。秋季地温、气温和地气温差总体均呈略微增加趋势,地气温差在2013年达最高值2.077 ℃,与2001年最低值(1.081 ℃)相差0.996℃。冬季地温有增加趋势,气温增加趋势不明显,地气温差波动幅度较大,呈不显著的略微增加趋势,最小值出现在1966年(–2.157 ℃),最高值出现在2008年(3.228 ℃),相差5.385 ℃,变化幅度为四个季节最高。

2.3.2 地气温差的空间变化特征 从图7来看,陕西省年均地气温差以2 ℃为分界线,高值集中在中部并逐步向南部扩散,低值集中在西南和北部地区。陕西省春、秋两季地气温差空间分布与年均地气温差分布较为一致,其中春季地气温差介于1~5 ℃之间,秋季则为0~3 ℃。夏季地气温差介于2~6 ℃,高值区分散在北部、中部和最南部,大部分地区地气温差均在4 ℃以上。冬季地气温差介于–1~2 ℃,有5个站出现了负值,主要集中在陕西省北部海拔 > 1000 m的黄土高原地区,该区域冬季地表多被冰雪覆盖,反照率大,地表获得太阳有效辐射较小,造成地表温度低于气温,出现地气温差负值[17]。

从图8来看,陕西省年均及四季地气温差变化整体上大致呈现“中间降低四周升高”的趋势,特别是位于东南部的镇安、商县及北部的长武、绥德在年均及四季的地气温差呈现显著上升趋势,而位于中部的耀县和南部的佛坪、汉中在年均及四季的地气温差中都呈现显著下降趋势。年均地气温差有44%的站点以0~0.6 ℃·$(10a)^{-1}$速率显著上升($P < 0.05$),分散在北部和东南部,28%的站点以–0.6~0 ℃·$10a^{-1}$速率显著下降($P < 0.05$),分布在中南部地区。春季地气温差整体呈现增加的趋势,其中有

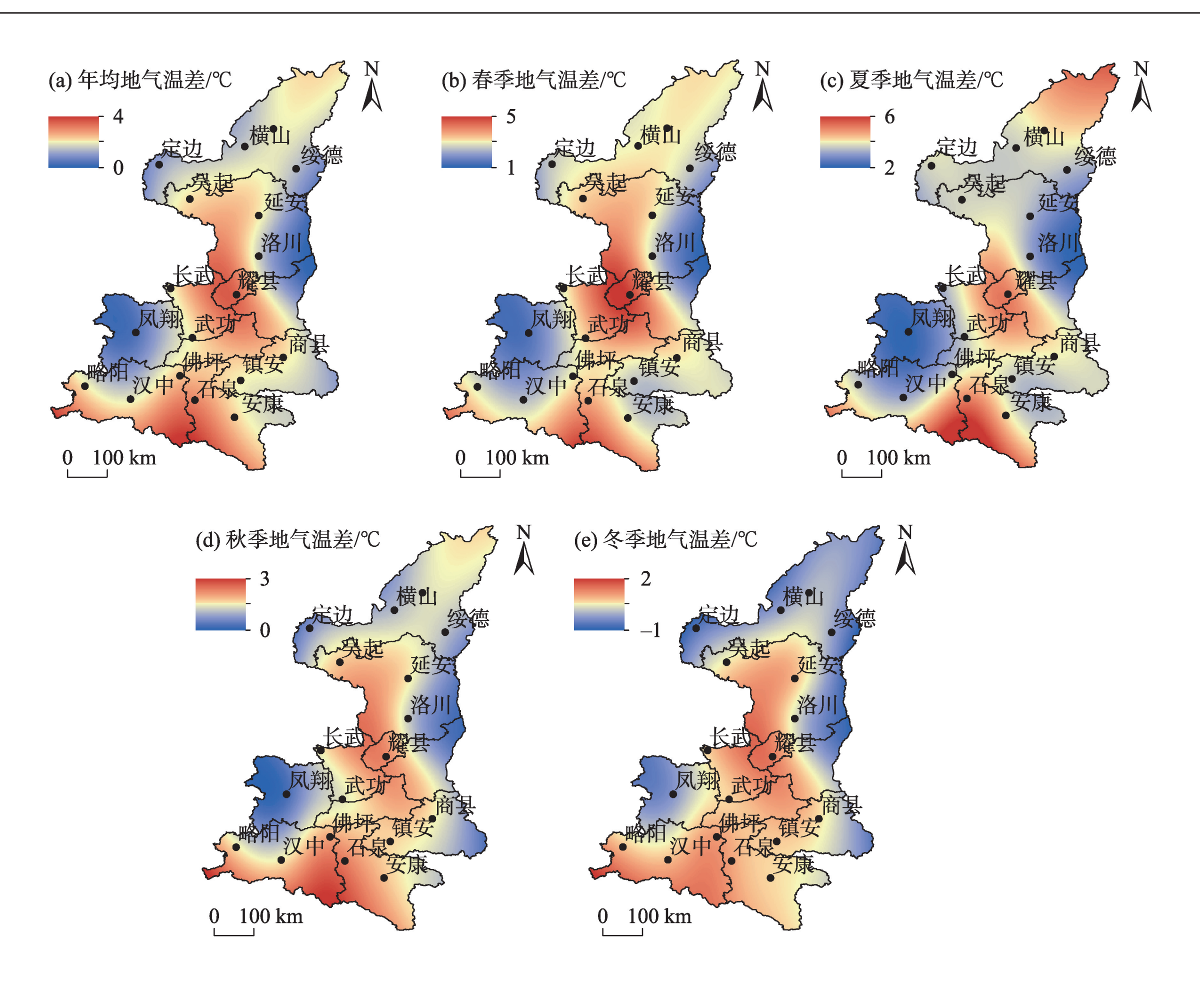


图7 1958—2017年陕西省年际和四季地气温差空间分布

Fig. 7 Distribution trend of annual and seasonal temperature difference between surface temperature and air temperature from 1958 to 2017 in Shaanxi province

61%的站点以0~0.6 ℃·$(10a)^{-1}$速率显著上升($P<0.05$),分散在最北、最西和最东部。夏季和秋季地气温差显著上升的区域分散在北部和南部,显著下降区域分布在中南部地区。冬季地气温差整体呈现增加的趋势,但只有长武和镇安分别以0.2 ℃·$(10a)^{-1}$和0.1 ℃·$(10a)^{-1}$的速率显著上升($P<0.05$),中部的耀县以−0.4 ℃·$(10a)^{-1}$速率显著下降($P<0.05$)。

2.3.3 地温与气温相关性 通过相关性分析发现(表2),陕西省近60 a年均温及四季气温与地温均呈显著正相关关系,其相关系数呈现秋季>春季>年>夏季>冬季的特点,但冬季均温与地温相关系数仅为0.247,表明冬季地温与气温相关性不强。影响地温的要素还包括降水、风速、土壤类型、太阳辐射等,未来还要增强多个因素与地温交互作用的研究。

3 结 论

根据1958—2017年陕西省18个气象站点地温、气温数据,对陕西省地温时空变化特征及地温与气温关系进行了探索,得到主要结论如下:

(1) 近60 a来,陕西省年际及四季平均地温除夏季外均呈显著增加趋势($P<0.01$),气候倾向率呈冬季[0.42 ℃·$(10a)^{-1}$]>春季[0.38 ℃·$(10a)^{-1}$]>年际[0.27 ℃·$(10a)^{-1}$]>秋季[0.23 ℃·$(10a)^{-1}$]>夏季[0.07 ℃·$(10a)^{-1}$]的规律。年际和春、夏季最高值出现在2010年前后,最低值出现在1980年前后,秋季与冬季地温最高值分别出现在1998年和2016年,最低值分别在1981年和1967年。陕西省年际和四季平均地温均发生突变增温,主要集中在20世纪90年代后期,地温突变后较之前升温幅度为春季>冬季>年际>夏季>秋季。

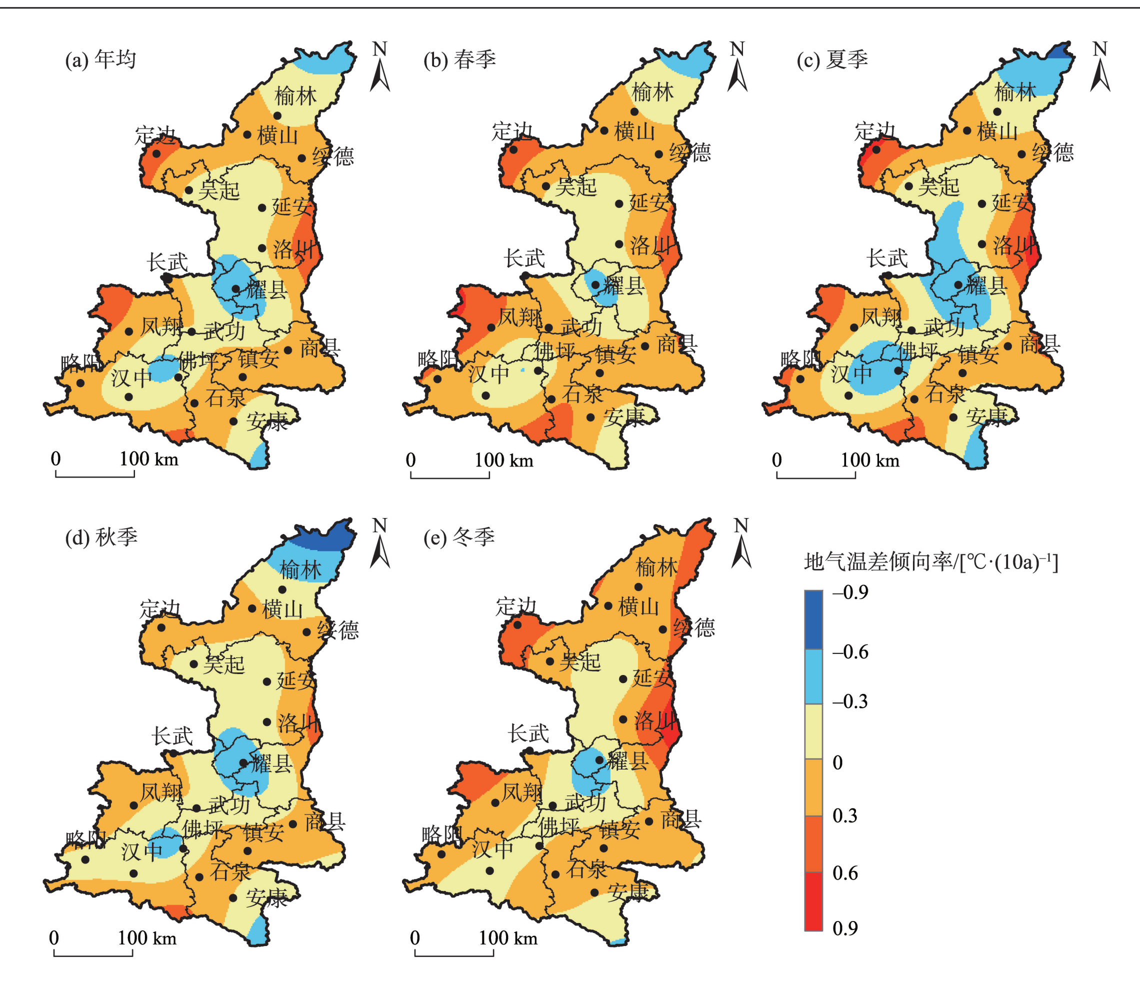


图8　1958—2017年陕西省年际和四季地气温差倾向率空间分布

Fig. 8　Distribution trends of temperature difference tendency between surface temperature and air temperature from 1958 to 2017 in Shaanxi province

表2　1958—2017年陕西省气温与地温的相关系数

Tab. 2　Correlation coefficient between air temperature and surface temperature in Shaanxi Province from 1958 to 2017

	年	春季	夏季	秋季	冬季
地温	0.949*	0.962*	0.922*	0.964*	0.247

注:*表示通过0.01显著性检验(双尾)。

(2) 陕西省年际及四季平均地温均表现为“南高北低”的空间分布特征,与纬度成反比例关系,18个气象站点年际、春季和冬季地温均呈现显著上升趋势($P<0.05$),夏季和秋季地温分别有33%和83%的站点呈现显著上升趋势($P<0.05$)。

(3) 陕西省近60 a年际及四季地气温差除夏季外均有上升趋势,地气温差气候倾向率表现出冬季[0.17 ℃·(10a)$^{-1}$]>春季[0.1 ℃·(10a)$^{-1}$,$P<0.01$]>年际[0.07 ℃·(10a)$^{-1}$,$P<0.01$]>秋季(0.02 ℃·(10a)$^{-1}$]>夏季[-0.01 ℃·(10a)$^{-1}$]的规律,其中年际及春季地气温差均呈现显著升高趋势,其中达到显著升高的站点分别占44%和61%。年际及四季地气温差气候倾向率整体上呈现“中间降低四周升高”的空间布局,其中陕西省中部和西南地区地气温差以下降为主,东南部和北部地气温差升高趋势明显。

(4) 通过相关性分析发现,陕西省近60 a年均温、春、夏、秋季气温与地温均呈显著正相关关系,其相关系数呈现秋季>春季>年>夏季>冬季的特点,但冬季均温与地温相关系数仅为0.247,表明冬季地温与气温相关性不强。

参考文献(References):

[1] 张慧智, 史学正, 于东升, 等. 中国土壤温度的季节性变化及其区域分异研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(2): 227-234. [Zhang Zhihui, Shi Xuezheng, Yu Dongsheng et al. Seasonal and regional variations of soil temperature in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2009, 46(2): 227-234.]

[2] 乔丽, 吴林荣, 张高健. 中国近50 a地表温度时空变化特征分析[J]. 水土保持通报, 2015, 35(5): 323-326. [Qiao Li, Wu Linrong, Zhang Gaojian. Temporal and spatial changes of land surface temperature in China in recent 50 years[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2015, 35(5): 323-326.]

[3] Hu Q, Feng S. A daily soil temperature dataset and soil temperature climatology of the contiguous United States[J]. Journal of Applied Meteorology, 2003, 42(2): 1139-1156.

[4] Qian B, Gregorich E G, Gameda S, et al. Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2011, 116(D2): 1-16.

[5] 陆晓波, 徐海明, 孙丞虎, 等. 中国近50 a地温的变化特征[J]. 大气科学学报, 2006, 29(5): 706-712. [Lu Xiaobo, Xu Haiming, Sun Chenghu, et al. Characteristics of soil temperature variations in China in recent 50 years[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2006, 29(5): 706-712.]

[6] 王佳琳, 潘志华, 韩国琳, 等. 1961—2010年中国0 cm地温变化特征及其与气温变化的关系[J]. 资源科学, 2016, 38(9): 1733-1741. 1733-1741. [Wang Jialin, Pan Zhihua, Han Guolin, et al. Variation in ground temperature at a depth of 0 cm and the relationship with air temperature in China from 1961 to 2010[J]. Resources Science, 2016, 38(9): 1733-1741.]

[7] 安彬, 肖薇薇, 张淑兰, 等. 1960—2017年黄土高原地表温度时空变化特征[J]. 干旱区地理, 2021, 44(3): 778-785. [An Bin, Xiao Weiwei, Zhang Shulan, et al. Spatial and temporal characteristics of surface temperature in the Loess Plateau during 1961-2017[J]. Arid Land geography, 2021, 44(3): 778-785.]

[8] 杨平, 陈少华, 顾欣, 等. 近50年黔东南浅层地温时空变化特征分析[J]. 西南师范大学(自然科学版), 2012, 37(11): 54-58. [Yang Ping, Chen Shaohua, Gu Xin, et al. On temporal and spatial characteristics of shallow geothermal in southeast Guizhou in the past fifty years[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2012, 37(11): 54-58.]

[9] 王雪姣, 王森, 吉春荣, 等. 1961—2015年新疆0 cm地温的时空分布特征及突变特征[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(4): 165-169. [Wang Xuejiao, Wang Sen, Ji Chunrong, et al. Spatial-temporal characteristics and mutation analysis of ground temperature in Xinjiang from 1961 to 2015[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(4): 165-169.]

[10] 赵美亮, 曹广超, 曹生奎, 等. 1980—2017年青海省地表温度时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 178-187. [Zhao Meiliang, Cao Guangchao, Cao Shengkui, et al. Spatial-temporal variation characteristics of land surface temperature in Qinghai Province from 1980 to 2017[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 178-187.]

[11] 闫军辉, 刘金科, 王娟, 等. 1961—2012年银川浅层地温变化及其对气候变化的响应[J]. 土壤通报, 2019, 63(1): 57-62. [Yan Junhui, Liu Jinke, Wang Juan, et al. Variations of shallow ground temperature and its response to climate change in Yinchuan city during 1961-2012[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2019, 63(1): 57-62.]

[12] 曲静, 王昱, 张弘. 近51年西安地温变化特征[J]. 气象科技, 2014, 42(4): 657-662. [Qu Jing, Wang Yu, Zhang Hong. Characteristics of soil temperature variation in Xi'an in recent 51 years[J]. Meteorological Science and Technology, 2014, 42(4): 657-662.]

[13] 李英杰, 张蓓, 杨晨曦, 等. 关中地区春季浅层地温分布规律研究[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(11): 10-13. [Li Yingjie, Zhang Bei, Yang Chenxi, et al. Research on soil temperature distribution of Guanzhong area in spring[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(11): 10-13.]

[14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第二版. 北京: 气象出版社, 2007. [Wei Fengying. Modern Climate Statistics Diagnosis and Forecasting Technology[M]. 2rd Ed. Beijing: Meteorological Press, 1999.]

[15] 董思, 任志远, 张翀, 等. 陕西省气候变化及其气候生产潜力的时空变化[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(8): 142-149. [Dong Si, Ren Zhiyuan, Zhang Chong, et al. Spatial-temporal changing characteristics of climate and its potential productivity in Shaanxi Province[J]. Journal of China Agricultural University, 2016, 21(8): 142-149.]

[16] 高茂盛, 李红梅, 王卫东, 等. 1961—2014年陕西省气候资源变化趋势及突变分析[J]. 中国农业大学学报. 2017, 22(11): 121-132. [Gao Maosheng, Li Hongmei, Wang Weidong, et al. Climate resources trend and abrupt climate change in Shaanxi Province during 1961-2014[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(11): 121-132.]

[17] 廖要明, 陈德亮, 刘秋锋. 中国地气温差时空分布及变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(4): 374-384. [Liao Yaoming, Chen Deliang, Liu Qiufeng. The spatiotemporal characteristics and long-term trends of surface-air temperatures difference in China[J]. Climate Change Research, 2019, 15(4): 374-384.]

Temporal and spatial characteristics of 0 cm surface temperature in Shaanxi province during 1958 to 2017 under climate change

XIAO Weiwei[1,2,3], AN Bin[1,2,3], SHI Jiaqi[1]

(1. School of Tourism and Environment Resources, Ankang University, Ankang 725000, Shaanxi, China; 2. Engineering Technology Research Center for Water Resource Protection and Utilization of Hanjiang River, Ankang 725000, Shaanxi, China; 3. Academician and Expert Workstation of Shaanxi, Ankang 725000, Shaanxi, China)

Abstract: We analyzed the temporal and spatial variation characteristics of 0 cm surface temperature in Shaanxi Province during 1958 to 2017 based on monthly surface and air temperature data from 18 meteorological observation stations, by using linear fitting, Mann-Kendall nonparametric tests and spatial interpolation. The results indicated that annual and seasonal 0 cm surface temperature had a significant upward trend ($P<0.01$) except summer during 1958 to 2017 in Shaanxi Province. The climate tendency showed a trend as winter [0.42 ℃·(10a)$^{-1}$] > spring [0.38 ℃·(10a)$^{-1}$] > annual [0.27 ℃·(10a)$^{-1}$] > autumn [0.23 ℃·(10a)$^{-1}$] > summer [0.07 ℃·(10a)$^{-1}$]. We observed that the abrupt changes in annual and seasonal surface temperatures were concentrated at the end of 1990s. After the mutation, the largest warming range was in spring, followed by winter, annual, summer, and autumn. Moreover, we found that the annual and seasonal surface temperatures showed a spatial distribution of “high in the South and low in the north”. The annual, spring, and winter surface temperatures of all meteorological stations showed a significant upward trend ($P<0.05$), while 33% of stations in summer and 83% in autumn had the same characteristics. Additionally, annual and seasonal surface-air temperature difference showed an upward trend except summer during 1958 to 2017 in Shaanxi Province. The climate tendency showed a trend as winter [0.17 ℃·(10a)$^{-1}$] > spring [0.1 ℃·(10a)$^{-1}$] > annual [0.07 ℃·(10a)$^{-1}$, $P<0.01$] > autumn [0.02 ℃·(10a)$^{-1}$, $P<0.01$] > summer [−0.01 ℃·(10a)$^{-1}$].Finally, there is a significant positive correlation between the annual average temperature, four seasons temperature and 0 cm surface temperature in Shaanxi Province in recent 60 years, which is characterized by autumn>spring>annual>summer>winter.

Keywords: 0 cm surface temperature; temporal and spatial change; abrupt change; surface-air temperature difference; Shaanxi Province